

平成 31 年 4 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：15KK0268

研究課題名（和文）光学プランクトン観測システムによる動物プランクトン生産力の定量評価（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Quantitative evaluation of zooplankton productivity using optical plankton observing system(Fostering Joint International Research)

研究代表者

山口 篤 (Yamaguchi, Atsushi)

北海道大学・水産科学研究院・准教授

研究者番号：50344495

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,700,000円

渡航期間：12ヶ月

研究成果の概要（和文）：光学プランクトン観測システムによる動物プランクトン生産力の定量評価の先端技術を習得するために、米国ウッズホール海洋研究所に1年間滞在研究を行った。同所ではVideo Plankton Recorderの開発者である、Cabel Davis博士と共同研究を行い、北極海の氷上定点において周年にわたり採集された時系列動物プランクトン試料を解析し、これまで報告がほとんど無い、北極海における深海性動物プランクトンに優占するカイアシ類の生活史を明らかにすることに成功した。北極海では近年、夏季の海水融解が顕著で低次生態系への影響が懸念されているが、本研究で得られた知見は、将来との比較に用いることが出来る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動物プランクトンは海洋生態系において、植物プランクトンの生産を高次生物に受け渡す役割を担っているが、植物プランクトンが衛星でリモートセンシング可能であるのに対して、簡便な定量方法が無いのが現状であった。本研究では、ビデオプランクトンレコーダー、光学式プランクトンカウンターや試料を画像スキャンするZooScanなどの画像イメージング技術を駆使し、北極海の氷上定点で時系列採集された試料を用いて深海性種の生活史解析を行った。本研究により得られた北極海の動物プランクトンの生活史は、海水減少による環境変動の著しい北極海の低次生態系の情報として、将来との比較に用いることが出来るリファレンスとなる。

研究成果の概要（英文）：To make collaboration study on "Quantitative evaluation of zooplankton productivity using optical plankton observing system", visiting study to Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) was made for one year during March 2018 to March 2019. At WHOI, I made collaboration study with Dr. Cabel Davis who developed Video Plankton Recorder. Through this visiting study, I achieved evaluation on life cycle of Arctic deep-sea zooplankton especially copepods by using samples collected by ice-station for year-long during September 1996 to September 1997. In the Arctic Ocean, drastic ice melting during summer has prominent recently. The obtained information on life cycle of deep-sea copepods through this collaboration study would be valuable as a comparable information with those in forthcoming future. As imaging analyses instrument, ZooScan have intruded during this study. The ZooScan analysis is providing valuable information on zooplankton size and taxa.

研究分野：生物海洋学

キーワード：生物海洋学 画像イメージング 動物プランクトン カイアシ類 生活史 北極海 ビデオプランクトンレコーダー 光学式プランクトンカウンター

1. 研究開始当初の背景

北極海では近年、夏季の海水融解が顕著で、低次生態系に与える影響が懸念されている。その影響評価において最も基礎となるのが、動物プランクトンの生活史である。しかし、北極海は秋季～春季の長い間にわたり海水に閉ざされるため、周年にわたり採集された時系列動物プランクトン試料は乏しいのが現状であった。この状況を打破するには、北極海の氷上に設けた氷上定点による時系列プランクトン採集が必要不可欠であった。これまで北極海の氷上定点時系列採集プランクトン試料セットとして、史上最も成功したのが SHEBA である。SHEBA はカナダの砕氷船を観測基地として氷上に固定し、1996年9月のカナダ海盆から開始し、翌年の1997年9月にかけて、最大水深3500m間を2～8層の鉛直区分採集を10-14日間隔で30回行った動物プランクトン試料セットである。このSHEBA試料を用いては、米国ウッズホール海洋研究所 (WHOI) のCarin Ashjian上席研究員による1報が報告されているのみで (Ashjian et al. 2003) 試料はホルマリン液浸の良好な状態でWHOIの倉庫に保存されていた。

2. 研究の目的

申請者は2016年10月にWHOIの受け入れ研究者であるAshjian博士と、1年間の滞在研究における研究テーマについて相談し、研究開始時にすぐ行える試料解析と、社会的にもインパクトが高く、1年間で行いうる解析内容として、SHEBA試料を用いて、申請者が得意とする画像イメージング技術を用いて、試料中に出現する生活史が未解析で未発表な、中層性カイアシ類の生活史を明らかにすることを目的とした。中層性カイアシ類には沈降粒子を餌とする粒子食性種、尾虫類のハウスなどをデテクトする特殊な化学受容器を口器付属肢を持つデトライトス食性種、また他の動物プランクトンを餌とする肉食性種の3つの食性があるが、本研究では同所的に出現する全食性の中層性カイアシ類の生活史を明らかにし、各食性毎にどのような環境要因が、生活史タイミング (成長、成熟および再生産) を決定しているかを明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究で解析を行ったのは、WHOIに保管されているSHEBA試料全121試料である。SHEBAは1997年10月27日～1998年9月29日にかけて、カナダ海盆からメンデレーエフ海盆にかけて、目合い53µmないしは150µmの口径1mの閉鎖式ネットによる、海表面から最大3500mまでの2～8層の鉛直区分採集を10-14日間隔で30回行った (Ashjian et al., 2003) 試料は4%中性ホルマリン海水にて固定された。

これらの試料中に出現した中層性カイアシ類16属22種 (*Aetideopsis multiserrata*, *Aetideopsis rostrata*, *Augaptilus glacialis*, *Chiridius obtusifrons*, *Euaugaptilus hyperboreus*, *Eucalanus bungii*, *Gaetanus brevispinus*, *Gaetanus tenuispinus*, *Haloptilus acutifrons*, *Heterorhabdus compactus*, *Heterorhabdus norvegicus*, *Hyalopontius typicus*, *Lucicutia polaris*, *Lucicutia pseudopolaris*, *Neocalanus cristatus*, *Paraeuchaeta barbata*, *Paraeuchaeta glacialis*, *Paraeuchaeta polaris*, *Pseudaugaptilus polaris*, *Pseudochirella spectabilis*, *Scaphocalanus magnus*, *Temorites brevis*) をソートし、発育段階毎に計数を行った。試料は画像イメージング機器であるZooScanでスキャンし、サイズデータを取得した。

各発育段階試料は蒸留水で脱塩後、あらかじめ秤量したアルミ皿に載せて湿重量を電子天秤 (CAHN, C-33) にて1µgの精度で測定した。乾燥機60°C条件下で5時間乾燥後、乾重量を測定した。その後、マッフル炉480°C条件下で5時間燃焼後、灰分量を測定した。乾重量と灰分量の差より、有機物重量を求めた。水分含有量 (%WW) と有機物含有量 (%DW) を求めた。PL, WW, DW, AFDWに基づく脱皮間成長 (%) を以下の式より求めた。

$$\text{Increment (\%)} = 100 \times \frac{(\text{post-molt size} - \text{pre-molt size})}{\text{pre-molt size}}$$

PL, WW, DWおよびAFDWについて、雌雄成体の値を100%とした時に、各発育段階における成長の占める割合を求めた。

4. 研究成果

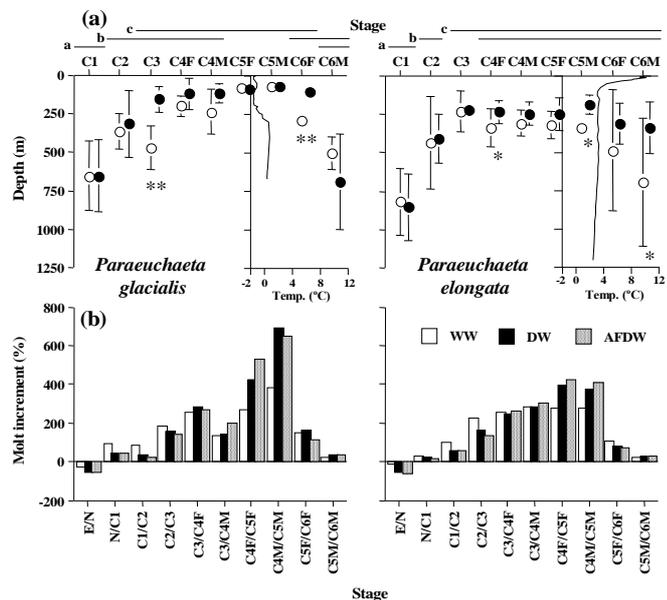


図1. 北極海における*Paraeuchaeta glacialis* (左)と西部北太平洋における*P. elongata* (右)の発育に伴う鉛直移動 (a)と脱皮間成長 (b)。

現在のところ解析が終了し、2報の論文原稿を受け入れ研究者の Ashjian 博士に校閲して貰っている。この2報の要約を以下に述べる。

(1) 中層性カイアシ類 *Paraeuchaeta* 属に見られる発育に伴う鉛直移動は脱皮間成長に関係する (Ontogenetic vertical migration of mesopelagic copepod *Paraeuchaeta* spp. is related with their mass growth) 要約: 西部北極海と西部北太平洋亜寒帯域に優占する肉食性カイアシ類 *Paraeuchaeta* 属 (*P. glacialis* と *P. elongata*) はいずれも、初期発育段階 C1-C2 と成体雌雄が深い層に分布し、C3-C5 期が浅い層に分布する、特徴的な発育に伴う鉛直移動パターンを持っていた (図1)。両種の脱皮間成長は、各発育段階の分布深度と負の関係があった (図2)。このことは *Paraeuchaeta* 属は産卵や初期発育段階では捕食圧の低い深海に分布するが、高い脱皮間成長を成し遂げるために餌の豊富な表層に中・後期発育段階で移動することを示している。

(2) 汎世界的分布種であるが生態に関する情報が乏しい中層性カイアシ類 *Scaphocalanus magnus* の鉛直分布、個体群構造および発育に関する特徴 (Vertical distribution, population structure and developmental characteristics of less studied but world-wide distributed mesopelagic copepod *Scaphocalanus magnus* in the western Arctic Ocean)

要約: *Scaphocalanus magnus* は汎世界的な分布をする大型カイアシ類であるが、その生態に関する知見は断片的で、生活史に関する報告は無い。本研究は西部北極海に設けた氷上ステーションで周年にわたり 10-14 日間隔で 0-2800 m 間を鉛直区分採集したプランクトンネット試料中に出現した *S. magnus* を定量し、鉛直分布、個体群構造、体長と体重、化学組成および脱皮間成長を明らかにしたものである。本種の C3-C6F の鉛直分布は極夜と白夜で異なり、極夜の分布中心は 264-381 m にあったのに対し、白夜の分布中心は 518-745 m にあった (図3)。生物生産の乏しい季節に中層で十分な餌を得るために、極夜に分布深度が浅くなっていたと考えられる。一方、C6M の鉛直分布には白夜と極夜での差は無かった。各発育段階の出現には明確な季節性があり、C2 は 6-8 月に多く、C3 は 8-9 月に多かった。現場水温と卵径から予想される発育時間より、本種の主要再生産が 2-4 月にあったと予想され、これは現場において重要なデトライタスの供給源である尾虫類が多くなる季節に相当していた。C4 以降の個体群コホートのトレースは困難で、これは本種が雌雄で発育速度やステージ滞留時間が異なる事の反映と考えられた。本種の C6M は口器付属肢が退化し摂餌を行わないため、C6 での雌雄比は大きく雌に偏っていた。

ため、C6 での雌雄比は大きく雌に偏っていた。体長と重量は C4 と C5 では雄の方が雌よりも大きく重く、C6 では逆に雌の方が雄よりも大きく重かった。脱皮間成長も C3/C4 および C4/C5 では雄の方が雌より大きく、C5/C6 では雌の方が雄より大きかった。雌雄での C4~C6 間の重量差は、各発育段階でのステージ滞留時間の反映と考えられた。雌は C4~C5 の滞留時間を短かくし、C6F の状態で長い時間を過ごしていると考えられる。中層性の粒子食性 (雑食性もしくはデトライタス食性) カイアシ類において C6F での滞留時間を長くすることは、餌供給量が増加した際に、速やかに再生産に移れる点で有利な生活史戦略であるといえる。

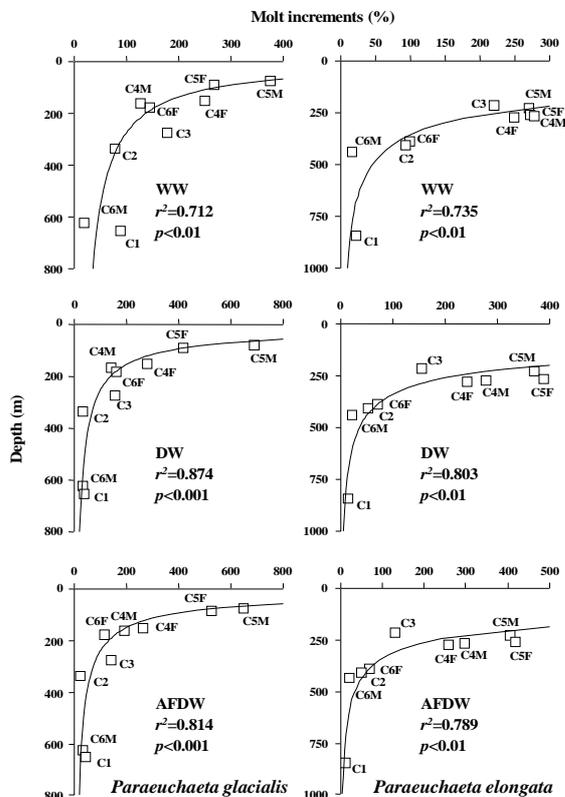


図2. 北極海における *Paraeuchaeta glacialis* (左) と西部北太平洋における *P. elongata* (右) の各発育段階の分布深度 (m) と脱皮間成長 (%) の関係。湿重量、乾重量、有機物重量、いずれでも極めて有意な関係が観察された。

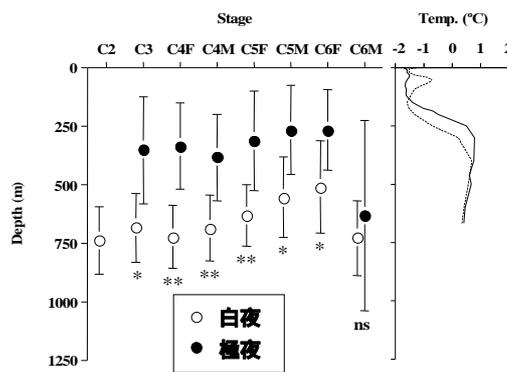


図3. *Scaphocalanus magnus* 各発育段階の白夜および極夜における鉛直分布。

5 . 主な発表論文等
(研究代表者は下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- Naito, A., Y. Abe, K. Matsuno, B. Nishizawa, N. Kanna, S. Sugiyama, A. Yamaguchi, Surface zooplankton size and taxonomic composition in Bowdoin Fjord, north-western Greenland: A comparison of ZooScan, OPC and microscopic analyses, *Polar Science*, 査読有、19 巻、2019、120-129
DOI: 10.1016/j.polar.2019.01.001
- Amano, K., Y. Abe, K. Matsuno, A. Yamaguchi, Yearly comparison of the planktonic chaetognath community in the Chukchi Sea in the summers of 1991 and 2007, *Polar Science*, 査読有り、19 巻、2019、112-119
DOI: 10.1016/j.polar.2018.11.011
- Tokuhiro, K., Y. Abe, K. Matsuno, J. Onodera, A. Fujiwara, N. Harada, T. Hirawake, A. Yamaguchi, Seasonal phenology of four dominant copepods in the Pacific sector of the Arctic Ocean: Insights from statistical analyses of sediment trap data, *Polar Science*, 査読有、19 巻、2019、94-111
DOI: 10.1016/j.polar.2018.08.006
- Maekakuchi, M., Y. Abe, K. Matsuno, T. Hirawake, A. Yamaguchi, Horizontal and vertical distribution of the appendicularian community and population structure in the Bering and Chukchi Seas during the summer of 2007, *Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University*, 査読無、68 巻、2018、43-49
DOI: 10.14943/bull.fish.68.3.43
- Hikichi, H., D. Arima, Y. Abe, K. Matsuno, S. Hamaoka, S. Katakura, H. Kasai, A. Yamaguchi, Seasonal variability of zooplankton size spectra at Mombetsu Harbour in the southern Okhotsk Sea during 2011: An analysis using an optical plankton counter, *Regional Studies in Marine Science*, 査読有、20 巻、2018、34-44
DOI: 10.1016/j.rsma.2018.03.011
- Yokoi, N., Y. Abe, M. Kitamura, M.C. Honda, A. Yamaguchi, Comparisons between POC and zooplankton swimmer flux from sediment traps in the subarctic and subtropical North Pacific, *Deep-Sea Research I*, 査読有、133 巻、2018、19-26
DOI: 10.1016/j.dsr.2018.01.003
- Nakamura, A., K. Matsuno, Y. Abe, H. Shimada, A. Yamaguchi, Length-weight relationships and chemical composition of the dominant mesozooplankton taxa/species in the subarctic Pacific, with special reference to the effect of lipid accumulation in Copepoda, *Zoological Studies*, 査読有、56 巻、2017、13
DOI:10.6620/ZS.2017.56-13.
- Tomiya, K., K. Matsuno, Y. Abe, H. Shimada, A. Yamaguchi, Inter-oceanic differences in macrozooplankton biomass and community structure in four regions around Hokkaido Island, Japan: consequences for marine ecosystem structure, *Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University*, 査読無、67 巻、2017、25-34
DOI: 10.14943/bull.fish.67.2.25

[学会発表] (計 9 件)

- 米田壮汰・大塚攻・山口篤、デトリタス食性カラヌス目カイアシ類の餌捕獲様式と食性の分類群間比較、海洋生物シンポジウム 2019、2019
- 徳弘航季・阿部義之・Eva-Maria Noethig・小野寺丈尚太郎・三瓶 真・藤原 周・松野孝平・山口篤、セジメントトラップを用いた北極海におけるカイアシ類群集構造の季節変化およびその海域間比較、海洋生物シンポジウム 2019、2019
- Yamaguchi, A., C.J. Ashjian, R.G. Campbell, Y. Abe, Seasonal abundance and vertical distribution of mesopelagic copepods in the western Arctic Ocean: Insights from SHEBA ice station, Pacific Arctic Group 2018 Fall Meeting, 2018
- 徳弘航季・Eva-Maria Noethig・阿部義之・藤原 周・松野孝平・山口篤、東部フラム海峡に係留されたセジメントトラップにスウィマーとして捕集された浮遊性カイアシ類の季節変化、日本海洋学会 2018 年度秋季大会、2018
- 前角地穂衣・松野孝平・阿部義之・山本潤・山口篤、定量ビデオカメラによる北部ベーリング海における大型クラゲ類の水平および鉛直分布評価: 一般化加法モデルによる解析、2018 年度日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会、2018
- 米田壮汰・田村啓明・阿部義之・野口真希・兵藤不二夫・大塚 攻・R.R. Hopcroft・山口篤、粒子食性カラヌス目カイアシ類の摂餌様式と食性の分類群間比較、2018 年度日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会、2018
- 小磯桃子・大越健嗣・山口篤・土田真二・河戸勝・藤原義弘、ベーリング海南東部で採集されたハダカカメガイ類の分子系統解析、日本貝類学会、2018

松野孝平・内藤明弘・阿部義之・山口篤、ZooScan による動物プランクトン群集評価の検討、
海洋生物シンポジウム 2018、2018

米田壮汰・田村啓明・阿部義之・大塚 攻・R.R. Hopcroft・山口篤、粒子食性カラヌス目カ
イアシ類の口器付属肢の形態計測学的分析：摂餌様式に関する考察、海洋生物シンポジウム
2018、2018

〔その他〕

ホームページ等

<http://hu-plankton.jp/>

6 . 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名：カリン・アシュジャン

ローマ字氏名：Carin J. Ashjian

所属研究機関名：ウッズホール海洋研究所

部局名：生物部門

職名：Senior Scientist

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名：ロバート・キャンベル

ローマ字氏名：Robert G. Campbell

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。